韓國精密工學會 2000年度 秋季學術大會論文集 pp.316~321 KSPE 00F072

다이캐스팅 금형 설계 시스템 개발

권택환*, 박준홍(부산대 대학원 정밀기계공학과), 최재찬(부산대 기계공학부),
김재훈(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김창호(동의대 기계공학과)

Development of Die Design System for Die Casting

T. H. Kwon, J. H. Park(Precision Mech. Eng. Dept., PNU Graduate school),
J. C. Choi(Mech. Eng. Dept., PNU), J. H. Kim(Precision Mech. Eng. Dept., PNU Graduate school),
C. H. Kim (Mech. Eng. Dept. DU)

ABSTRACT

Die Casting is one of the forming methods to manufacture large number of products with short period time and clean surface by high forming pressure and temperature of cast alloy. Die design is composed of selection of cast alloy, design of die casting product, runner and gate design etc. In reality, however, die design of die casting has been performed by trial and error method, which cause economic and time loss. This paper describes a research work of developing computer-aided design of die casting product and die design. Approach to the CAD system has been written in AutoLISP on the AutoCAD with personal computer.

In this study, die design system for gate of die casting process has been developed to present algorithm for automation of die design, especially runner-gate system. As forming process and die design system using 3-D geometry handling are integrated with technology of process planning, die design is possible to set. In addition, specific rules and equations for the runner-gate system have been presented to avoid too many trails and errors with expensive equipment. It is possible for engineers to make automatic and efficient die design of die casting and it will result in reduction of expense and time to be required. An example is applied to cap-shaped casting using proposed algorithm.

Key Words : Die casting(다이캐스팅), Die design system(금형설계 시스템), Rule base(규칙 기반), Runner(탕도), Gate(탕구)

1. 서론

다이캐스팅(Die Casting)이란 정밀한 금형안에 용융합금을 높은 온도에서 압력을 주어서 주입하여 높은 정밀도와 표면이 깨끗한 주물품을 짧은 시간에 대량생산하는 주조방식이다. 다이캐스팅은 1915년 Doehler가 Al 합금으로 이용하여 다이캐스팅 제품을 제조한 이후 지금까지 자동차 공업의 발달과 더불어 수요가 점점 증가하고 있는 추세이다[1].

사형 주물이나 일반 저압 금형 주조와는 달리 10-200MPa의 높은 압력으로 금형안에 용탕을 주입한 후 응고 시키는 방법으로 금형의 비용이 비싸기 때문에 소량생산에는 적합하지 않지만 치수 정밀도가 좋고, 주물 표면이 매끈하고 깨끗하며, 살두께가 얇은 제품을 제조할 수 있고, 생산성이 높으며, 복잡한 형상의 제품 제조가 가능한 여러 가지 장점 때문에 다이캐스팅 성형공정은 수백톤에서부터 수천톤의 기계가 다수 설치되어 급격히 발전하고 있다[2].

현재까지 금형설계 시스템에 관한 연구로서 W. Zhang등[3]은 CAD package를 사용하여 다이캐스팅을 CAD/CAE 시스템에 적용할 수 있는 개념을 정립하였으며, J. P. Kruth[4]는 Mould 설계에 CAD/CAM 시스템을 적용하였고, M. Abrahams등[5]은 Injection mould에 CAD/CAM 시스템을 적용하였다. 한편, 사출성형과 유사한 공정인 다이캐스팅 공정에 대한 금형설계 시스템에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 설계자가 다이캐스팅 금형, 특히 탕도와 탕구부분의 런너-게이트 시스템(Runner-gate system)을 합리적이고 효율적으로 설계하기 위한 다이캐스팅 금형 설계의 자동화를 위한 알고리즘을 제시한다. 덧붙여, 제시된 알고리즘을 이용하여 간단한 캡 형상의 제품에 적용하여 보았다.

2. 금형 설계 시스템의 구성

2.1 시스템의 구성

본 연구에서 다이캐스팅 금형 설계 시스템은 제품 형상부가 입력 되었을 때 금형을 자동적으로 창출하는 시스템의 설계 순서는 Fig. 1에 나타내었다. 먼저 제품의 3차원 도면이 입력되어 다이캐스팅 제품의 설계를 시작하게 되는데, 탕구, 탕도, 오우버플로우, 그리고 에어벤트와 같은 각 부분들에 대해서 규칙 베이스를 사용하여 형상을 결정하고, 각 부분과 캐비티가 결합되고 나면, 다이캐스팅의 상·하 금형 형상과 레이아웃을 결정하고 사용자의 확인을 거쳐 다이캐스팅 금형설계를 완료하고 상용 해석 프로그램을 사용하여 설계된 다이캐스팅 금형을 검증하게 된다.

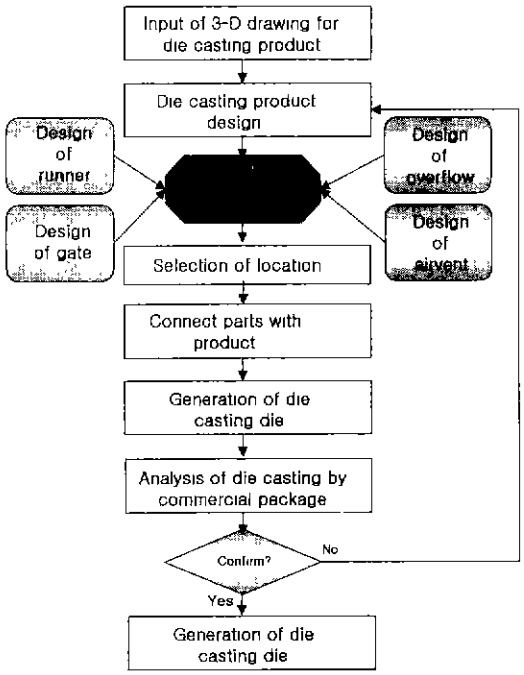

Fig. 1 Flowchart of die designs system for die casting

2.2 제품 형상부의 설계

다이 캐스팅 금형 설계는 크게 제품 형상부의 설계와 구성 부품을 설계하는 레이아웃(layout) 설계, 최종적으로 금형을 생성하는 부분으로 구분할 수 있는데, Fig. 2은 다이캐스팅 제품의 형상부를 설계하는 흐름을 나타내고 있다.

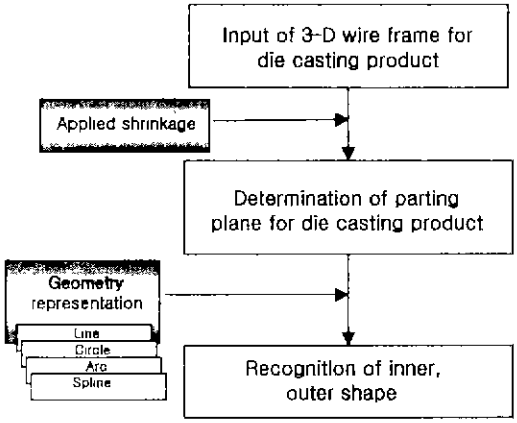

Fig. 2 Algorithm for design of die casting product

2.3 레이아웃 금형 설계

다이캐스팅 제품 설계가 완성되면, 주금형을 설계하는 다이캐스팅 금형의 레이아웃 설계를 수행하게 된다. 다이캐스팅 금형의 레이아웃 설계에서는 탕구와 탕도, 오우버플로우와 에어벤트가 설계되어 주금형을 구성하게 된다. 다이캐스팅 금형의 레이아웃 설계에서는 주조 방안이 가장 중요한데, 주조 방안에서는 탕구와 탕도, 오우버플로우와 에어벤트, 그리고 비스킷 부분의 형상 및 치수를 결정한다. Fig. 3,4는 각각 탕구, 탕도 설계의 알고리즘을 나타낸다.

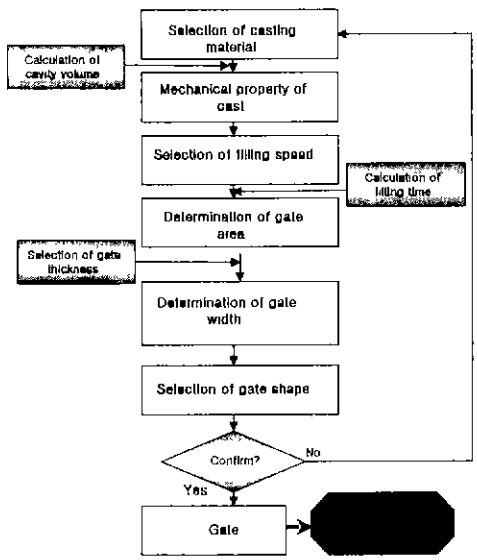

Fig. 3 Algorithm for gate design of die casting

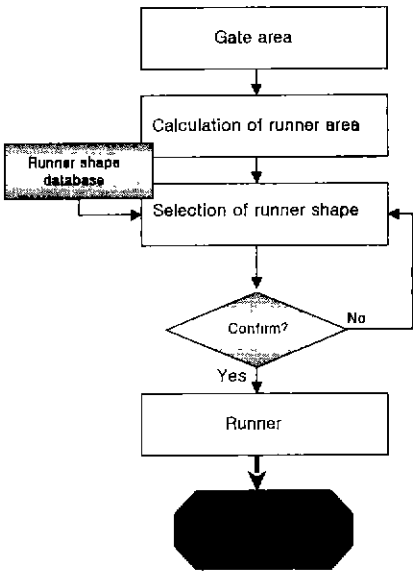

Fig. 4 Algorithm for runner design of die casting

Fig. 5는 오우버플로우와 에어밴트 설계의 알고리즘을 나타내고 있다.

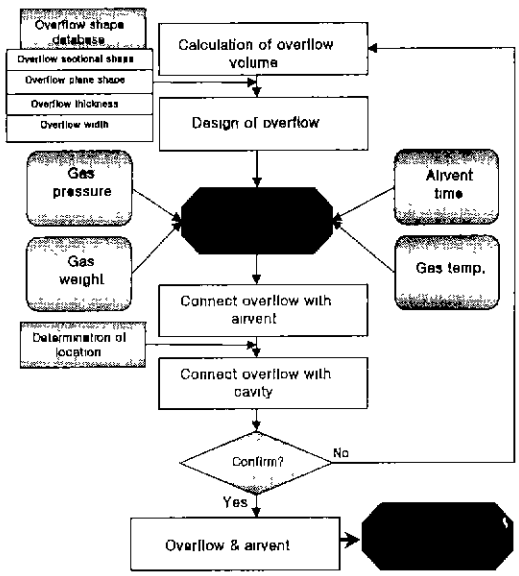

Fig. 5 Algorithm for overflow & airvent design of die casting

2.4 금형 생성

제품 형상부, 탕도, 탕구, 오우버플로우, 에어벤트가 설계되어 다이캐스팅 캐비티가 생성되면, 다이캐스팅 금형의 상·하 금형을 생성하게 되는데 이를 Fig. 6에 나타내고 있다. 다이 블록으로부터 캐비티를 취출(subtraction)하고 분할면을 기준으로 금형을 분리(split)하여 다이캐스팅의 고정측 금형과 가동측 금형을 생성하게 된다.

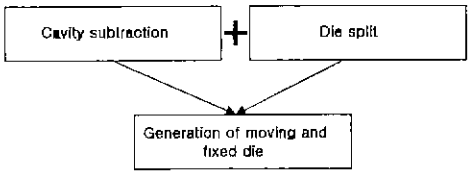

Fig. 6 Algorithm for die generation

3. 금형 설계 시스템의 규칙 기반

3.1 탕구 설계

먼저 용탕의 종류를 데이터베이스로 선택하고, 캐비티 체적을 계산한다. 용탕의 기계적 성질이 입력되고, 제품의 두께에 따른 충전 속도(Filling speed)를 선택한다. 선택되어진 충전 속도로부터 충전 시간(filling time)을 계산한다.

충전 시간과 충전 속도로부터 탕구의 단면적을 계산하고 탕구의 형상을 선택한 후 탕구를 생성하게 된다. Table 1는 탕구의 단면적 계산을 위해서 다이캐스팅 제품의 살두께에 따른 탕구에서의 충전 속도를 나타내고 있다.

Table 1에서 제품의 최소 살두께가 얇으면 얇을수록 탕구에서의 충전 속도가 증가해야 함을 알 수 있는데, 이는 제품의 살두께가 얇은 부분에서 용탕이 미리 응고하여 제품에 미충진 현상이 발생하는 것을 방지하기 위해 탕구에서의 속도를 증가하여 용탕의 응고전에 충전되도록 하는 것이다.

Table 1 Filling speed according to minimum thickness of cast

Minimum thickness(mm)	Filling speed(m/s)	
	AlDC1	AlDC8
1.270	45	46.2
1.905	42	43.5
2.540	40.5	42
3.175	39	40.5
3.810	37.5	39
4.572	36	37.5
5.080	34.5	36
6.350	31.5	33
Die Temp.	260℃	260℃

일반적으로 탕구의 설계는 탕구의 단면적 계산을 시작으로 하는데 탕구의 단면적 Ag는 다음식으로

산출한다[6].

$$A_g = \frac{Q_a}{V_g \cdot t_g} \quad (1)$$

여기서,
Ag : 탕구 단면적, cm2
Vg : 탕구 속도, m/sec
tg : 충전 시간, sec
Qa : 캐비티로 충전되는 용탕의 체적, cm3

충전 시간은 용탕이 완전히 응고하기 전까지는 충전이 가능하지만 실제 70% 이상의 고상율이 되면 유동이 불가능한 상태이므로 70%까지 달하는 시간을 충전 시간으로 한다. 충전 시간을 계산하기 위하여 단위체적 당 보유열량과 단위 시간당 방출열량을 계산해야 하는데 단위 체적당 열보유량 K는 식(2)와 같다.

$$K = [L + C_p \cdot (T_m - T_s)] \cdot \rho \cdot S \cdot X \quad (2)$$

단위 체적당 열방출량 q'는 식(3)과 같이 된다.

$$q' = \chi \cdot S \cdot (T_m - T_d)/X \quad (3)$$

식(2)와 식(3)으로부터, 충전시간 tg는 식(4)와 같이 구해진다.

$$t_g = \frac{K}{q'} \times 0.7 \quad (4)$$

여기서,
K : 용탕의 단위 체적 당 보유열량, cal
q' : 용탕의 단위 시간 당 방출열량, cal/sec
L : 응고잠열, cal/g
Cp : 용탕의 비열, cal/g·℃
Tm : 용탕 온도, ℃
Ts : 고상선 온도, ℃
Td : 금형 온도, ℃
ρ : 합금의 밀도, g/cm3
S : 방열 면적, cm2
X : 두께의 1/2, cm
χ : 합금의 열전도도, cal/cm·sec·℃

일반적으로 탕구 두께는 트리밍 등을 고려하여 적당한 두께(0.5mm-3.0mm)를 선택하는데, 탕구 두께가 결정되고 식(1)에서 탕구 단면적이 계산되어지면 탕구의 폭 W은 다음의 식으로 결정된다.

$$W = \frac{A_g}{t} \quad (5)$$

여기서,
t : 탕구 두께, cm

3.2 탕도 설계

탕구의 단면적이 식(1)로부터 계산되어지면, 용탕의 체적일정 법칙에 의해서 탕도의 단면적을 계산할 수 있다. 탕도의 단면적이 계산되면, 탕도 형상의 데이터 베이스로부터 탕도의 형상을 결정하고, 사용자의 확인을 거쳐 탕도의 수치 데이터 및 형상이 생성된다. 다이캐스팅 금형설계에 있어서 탕도 설계가 제대로 되어야 입구에서부터 탕구까지 난류 발생 및 공기의 혼입을 최소화하고 가공 오차를 줄일 수 있다. 먼저 탕도 단면적은 캐비티에 들어가는 유량과 유속에 결정적인 영향을 미치므로 매우 중요한데 탕구 단면적을 결정한 후 탕도 입구 단면적을 계산하게 된다.

탕도의 단면형상은 일반적으로 역사다리꼴 형상을 사용하며 Fig. 7에 나타내고 있다. 탕도의 단면적은 탕구 단면적의 4-5배로 하고, 깊이와 폭의 비는 1:1.5-3.0으로 설계하며 각도는 10-20°, 코너반경은 6mm이상으로 설계한다. 기본적으로 제품까지의 거리를 짧게하고, 직선이 되도록 설정한다.

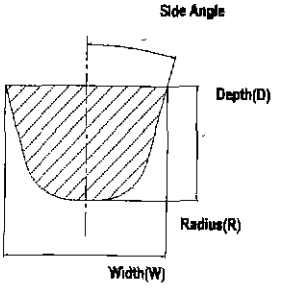

Fig. 7 Sectional shape of runner

3.3 오우버플로어 및 에어벤트의 설계

오우버플로우와 에어벤트는 일반적으로 같이 붙어있으므로 한쌍으로 설계하여 용탕의 흐름 및 충전을 개선한다. 오우버플로우와 에어벤트의 적정한 위치는 용탕의 흐름이 어려운 곳, 용탕의 합류점, 금형 온도가 통상 낮은 곳, 기공(porosity)이 발생하기 쉬운 곳, 압입된 용탕이 직접 닿지 않는 위치, 탕구로부터 떨어져 있는 곳에 설치하게 된다.

먼저 오우버플로우의 체적을 결정하고 오우버플로우의 단면형상, 평면형상, 두께, 폭이 포함되어 있는 데이터베이스로부터 형상을 결정하면 오우버플로우가 생성된다.

가스압력, 가스온도, 가스 중량 등을 계산하여

에어벤트를 설계하고 생성된 에어벤트와 오우버플로우를 연결하여 하나의 형상으로 처리한다. 사용자에 의하여 오우버플로우의 위치가 결정되면 연결 알고리즘에 의해 캐비티와 오우버플로우 그리고 에어벤트가 결합된다.

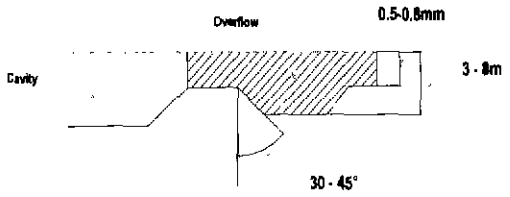

Fig. 8 Schematic drawing of general shape for overflow

Fig. 8는 오우버플로우의 일반적인 단면 형상으로서 캐비티와 접합하는 부분은 제품의 완성 후 절단하기에 용이하도록 두께가 0.5-0.8mm 정도로 얇게 하고 중앙의 두꺼운 부분은 3-8mm 정도로 하며, 이루는 각은 Fig. 8에서와 같이 30-45°로 한다.

3.3 캐비티 블럭의 설계

제품의 형상부와 레이아웃 설계가 이루어지면 최종의 금형을 생성하기 위해서는 캐비티 블록의 설계가 이루어져야 한다. Fig. 9 캐비티 블록의 일반적인 형상을 나타내주고 있다.

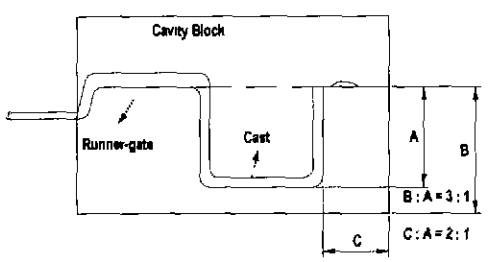

Fig. 8 Schematic drawing of general shape for cavity block

4. 금형 설계 시스템의 적용

4.1 제품 형상부의 설계

본 연구에서 제안된 다이캐스팅 금형 설계 알고리즘을 캡 형상의 제품에 적용하였다. 먼저, Fig. 10에는 상용 모델러를 이용한 제품의 모델링 결과를 나타내었다. 제품의 형상부를 설계하기 위해서는 제품을 먼저 와이어 프레임 형태로 입력 받아야 한다. 본 연구에서는 와이어 프레임의 형식을 igesfile 형식으로 입력 받도록 하였다. 입력된 제품은 먼저 수축률을 적용 받게 된다. Fig. 11은 수축률을 결정하고 실제로 적용하는 부분이다. 코어가 있을 때와 없을 때의 경우를 나누어서 고려하였다.

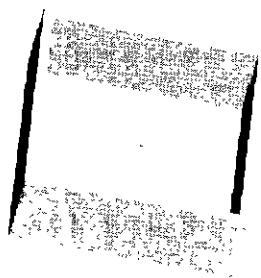

Fig. 10 3D modeling of cap-shaped product

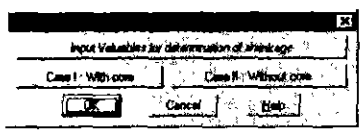

Fig. 11 Determination of apply shrinkage

4.2 레이아웃 설계

제품 형상부가 설계된 후에 레이아웃 설계가 이루어진다. Fig. 12은 레이아웃 설계의 결과를 나타내주고 있다. 탕구, 탕도, 오우버플로어등이 규칙 기반을 바탕으로 설계되어 결합된 형상이다.

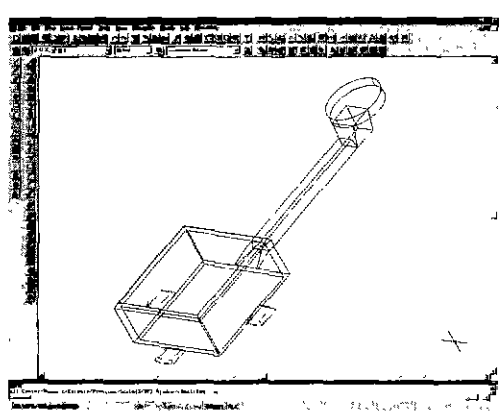

Fig. 12 3D modeling of cap-shaped product

4.3 금형 생성

레이아웃 설계가 이루어지면 규칙 기반에 의해서 캐비티 블럭이 생성된다. Fig. 13은 캐비티 블럭이 생성되어진 형상을 나타내고 있다. 캐비티 블록이 생성되면 최종적인 금형을 생성할 수 있다. 제품부의 형상을 고려하여 최종적으로 가동 금형과 고정 금형을 생성한 것이 Fig. 14에 나타나있다.

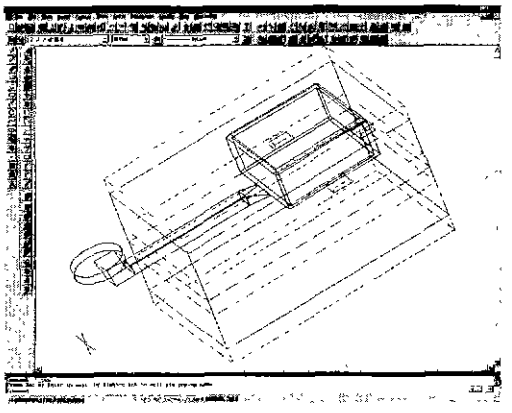

Fig. 13 3D modeling of cap-shaped product

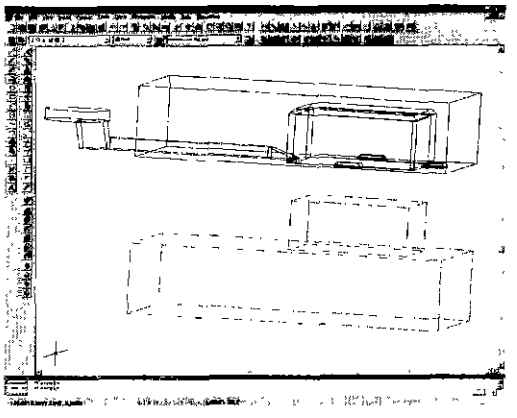

Fig. 14 3D modeling of cap-shaped product

5. 결론

본 연구에서는 다이캐스팅 금형 설계 시스템에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 설계자가 다이캐스팅 금형, 특히 탕도와 탕구 부분의 런너-게이트 시스템을 합리적이고 효율적으로 설계하기 위한 다이캐스팅 금형 설계 시스템의 알고리즘을 제시하였다.
2. 본 연구에서 제안된 알고리즘을 캡 형상의 제품에 적용하여 금형 설계를 수행하였다.
3. 다이캐스팅 금형설계에 대한 경험적인 지식을 정량화하고 설계 절차를 정식화한 시스템을 개발하여 금형의 고정도화 및 납기 단축 등에 능동적으로 대처할 수 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

1. H.H. Doehler, "Die Casting", McGraw-Hill Book Company, 1951.
2. 이지환, 황선광, 이두면, "다이캐스팅 머신메뉴얼", 원창출판사, 1995.
3. W. Zhang, S. Xiong, B. Liu, "Study on a CAD/CAM System of Die Casting", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 63, pp. 707-711, 1997.
4. J.P. Kruth, "Steps Toward an Intergrated CAD/CAM System for Mould Design and Manufacture: Anisotropic Shrinkage, Component Library and Link to NC Machining and EDM", Annals of the CIRP, Vol. 35, 1986.
5. M. Abrahams, M. Doble, "CAD/CAM Integration for producing injection moulds", ZWF Z. Wirtsch. Fertigung, Vol. 80, No. 9, pp. CA60-62, 1985.
6. 김기영, "다이캐스팅 금형설계(I)-탕도계의 설계", 한국주조공학회지, 제19권, 제2호, pp.178-188, 1999.